

5/10/015

# Dynamique du potassium échangeable dans les sols tropicaux cultivés\*

O. DOGNIN, C. MEGIE, L. RICHARD, G. SEMENT

## RÉSUMÉ

La grande variabilité des teneurs en K échangeable suivant les époques de prélèvement rend très imprécises les comparaisons entre analyses réalisées à des époques différentes ; par contre, la comparaison de divers traitements pour une même date de prélèvement est parfaitement valable. Au Togo, on a pu expliquer partiellement cette variabilité au cours de 6 années par la somme des pluies tombées au cours des 6 mois précédant le prélèvement.

A partir des données recueillies dans 42 essais répartis en Afrique depuis le Sénégal jusqu'à la Centrafrique, il a été possible d'établir l'équation de régression suivante :

Réponse à la fertilisation potassique :  $77,5 - 7,7 \text{ mat. org. } \% + 112,5 \text{ K meq/100 g (0,40 cm)}$ .

Cette réponse atteint la valeur 100 quand il n'y a plus de réponse du cotonnier aux apports de potassium.

Il se vérifie que l'évolution du potassium échangeable du sol dépend du bilan potassique du système de production. Si les apports sont supérieurs aux exportations, on observe un accroissement du potassium et inversement. Les apports d'engrais, par acidification, accroissent les pertes en cations ; le calcium et le magnésium sont plus sensibles à la lixiviation que le potassium.

**Mots clés :** dynamique potassium échangeable, bilan minéral, système de production, matière organique, acidification, engrais.

Le potassium échangeable est sous la dépendance de nombreux facteurs pédologiques, climatiques et agricoles qui conduisent à une grande variabilité des teneurs observées ; leur interprétation par l'agronome pose souvent de sérieux problèmes, il est néanmoins nécessaire d'éclairer la situation pour une conduite rationnelle des systèmes de culture dans le respect de la fertilité des sols.

L'I.R.C.T., en coopération avec les services nationaux de recherche agronomique, a mis en place depuis plus de 15 ans un réseau d'essais pluriannuels, actuellement au nombre de 66, répartis sur l'ensemble des zones cotonnières depuis la Centrafrique jusqu'au Sénégal. La continuité dans la conduite de ces essais et les analyses régulières du sol et de la plante qui les accompagnent nous permettent maintenant d'aborder les problèmes d'évolution de la fertilité en général et de la dynamique des éléments nutritifs en particulier, avec un recul suffisant et d'abondantes données.

Nous présentons ici quatre notes concernant la dynamique du potassium dans les sols cultivés ; elles ont été rédigées à partir des informations recueillies récemment par les agronomes de l'I.R.C.T. dans notre réseau d'essais pluriannuels :

I. — Variabilité des teneurs d'un sol en potassium échangeable, par L. Richard ;

II. — Rôle de la matière organique et du potassium échangeable dans la réponse des cultures à la fertilisation potassique, par L. Richard ;

III. — Incidence du bilan minéral d'un système de culture sur la teneur du sol en potassium échangeable, par O. Dognin et C. Mégie ;

IV. — Effet de la fertilisation minérale sur l'acidification du sol et les variations du potassium échangeable, par G. Sément.

\* Communications présentées au Séminaire sur le Potassium, 21 et 22 octobre 1980 à Abidjan (Côte-d'Ivoire).

## I - Variabilité des teneurs d'un sol en potassium échangeable

L. RICHARD \*

## ESSAI DE BOUAKE (Côte-d'Ivoire)

## But de l'essai

Le but de l'essai mis en place en 1973 est l'étude de la dynamique du potassium dans un sol ferrallitique sous divers traitements.

## Dispositif expérimental

## Traitements :

1. — Sol nu sans engrais .....	K <sub>2</sub> O = 0 kg/ha
2. — Sol nu avec engrais 300 kg/ha 12.15.18 + 75 kg/ha urée .	K <sub>2</sub> O = 54 kg/ha
3. — Sol nu + paille incorporée 10 t/ha de paille de riz .....	K <sub>2</sub> O = 300 kg/ha
4. — Sol nu + paille incorporée avec engrais .....	K <sub>2</sub> O = 384 kg/ha
5. — Culture cotonnière sans engrais .....	K <sub>2</sub> O = 0 kg/ha
6. — Culture cotonnière avec engrais .....	K <sub>2</sub> O = 54 kg/ha

Chaque traitement est représenté par une parcelle de 100 m<sup>2</sup>. Il n'y a pas de répétition.

## Rendements en coton-graine observés (kg/ha) :

Année	5	6
1973 .....	853	1 183
1974 .....	283	650
1975 .....	714	1 260
1976 .....	625	1 206
1977 .....	1 107	2 292
1978 .....	899	2 094
1979 .....	627	1 408
Moyenne .....	730	1 442

## Analyse du sol. Evolution du potassium échangeable

Tableau 1. — Analyse du sol au début de l'expérience  
(Laboratoire IDESSA Bouaké - 1973).

Caractéristiques		Horizon	
		0-25	25-50
Granulométrie	Argile .....	20,5	22,4
	Limon .....	8,0	7,6
	Sable très fin .....	3,4	3,0
	Sable fin .....	16,0	14,6
	Sable grossier .....	52,2	52,4
Matière organique	M.O. (%) .....	2,04	1,78
	C total (%) .....	1,24	1,03
	N total (%) .....	0,78	0,67
	C/N .....	15,8	15,1

Caractéristiques		Horizon	
		0-25	25-50
Phosphore	Phosphore total . )	572	531
	Phosphore Olsen ) p.p.m.	68	62
Bases échangeables meq/100 g	Ca .....	1,95	1,77
	Mg .....	1,31	1,21
	K .....	0,34	0,29
	Na .....	0,01	0,01
	Somme .....	3,61	3,28
	Cap. Ec. .....	7,68	6,86
Bases totales %	V (%) .....	47	48
	Ca .....	1,17	1,06
	Mg .....	0,80	0,83
	K .....	1,84	2,15
	Na .....	1,10	1,25

\* Directeur de la division d'Agronomie. I.R.C.T. Paris.

Tableau 2. — Evolution des teneurs en K échangeable (en meq/100 g).

Date prélèvement	1		2		3		4		5		6	
	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
21-08-73	0,32	0,30	0,39	0,37	0,36	0,29	0,33	0,33	0,22	0,21	0,33	0,29
20-11-73	0,32	0,35	0,45	0,43	0,17	0,17	0,29	0,29	0,16	0,15	0,28	0,24
30-04-74	0,27	0,27	0,33	0,35	0,18	0,14	0,34	0,21	0,13	0,14	0,22	0,23
20-08-74	0,25	0,23	0,27	0,27	0,18	0,10	0,29	0,18	0,15	0,10	0,32	0,15
26-11-74	0,16	0,14	0,25	0,25	0,04	0,03	0,29	0,21	0,05	0,08	0,14	0,15
22-04-75	0,22	0,22	0,32	0,32	0,20	0,10	0,32	0,25	0,15	0,12	0,23	0,25
21-08-75	0,20	0,18	0,35	0,26	0,18	0,12	0,44	0,30	0,12	0,07	0,39	0,26
20-11-75	0,24	0,24	0,44	0,43	0,32	0,32	0,50	0,60	0,25	0,36	0,33	0,41
22-04-76	0,15	0,11	0,37	0,30	0,23	0,16	0,35	0,31	0,20	0,19	0,26	0,25
20-08-76	0,15	0,10	0,20	0,31	0,13	0,19	0,22	0,34	0,17	0,25	0,20	0,33
22-11-76	0,27	0,23	0,29	0,26	0,40	0,16	0,50	0,34	0,19	0,14	0,50	0,35
25-04-77	0,26	0,22	0,30	0,35	0,23	0,24	0,64	0,45	0,16	0,11	0,25	0,26
23-08-77	0,30	0,29	0,42	0,36	0,49	0,23	0,59	0,49	0,20	0,18	0,49	0,30
20-11-77	0,10	0,09	0,30	0,28	0,17	0,18	0,35	0,28	0,10	0,09	0,30	0,37
22-04-78	0,12	0,10	0,31	0,40	0,23	0,21	0,51	0,38	0,13	0,10	0,23	0,20
21-08-78	0,17	0,18	0,36	0,43	0,21	0,20	0,43	0,41	0,11	0,11	0,34	0,35
23-11-78	0,27	0,24	0,37	0,32	0,29	0,25	0,32	0,38	0,18	0,18	0,39	0,41
28-04-79	0,16	0,20	0,27	0,36	0,23	0,19	0,32	0,27	0,15	0,15	0,40	0,36
22-08-79	0,17	0,09	0,17	0,30	0,15	0,20	0,36	0,27	0,08	0,04	0,32	0,22

Les valeurs du tableau 2 sont portées sur les figures 1 et 2.

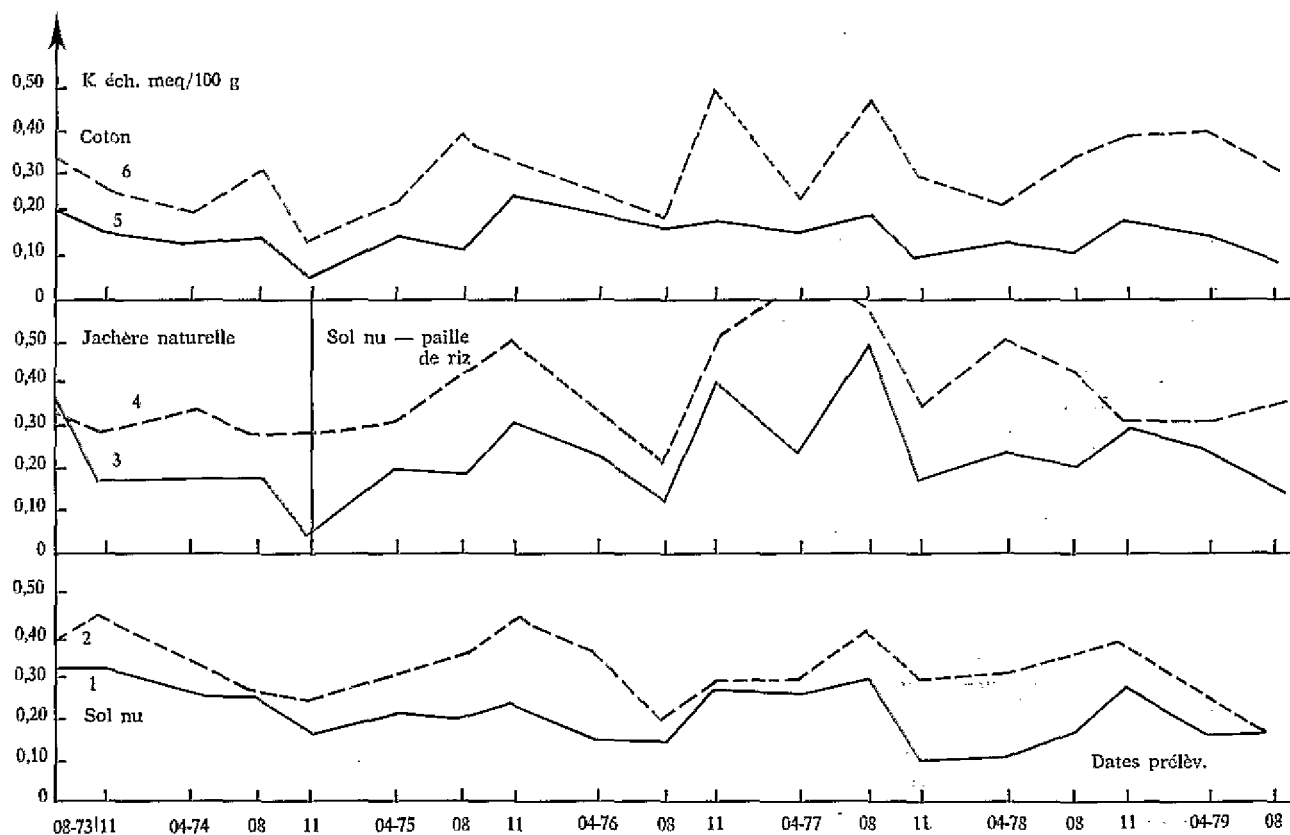


Figure 1. — K échangeable meq/100 g (0-25 cm)

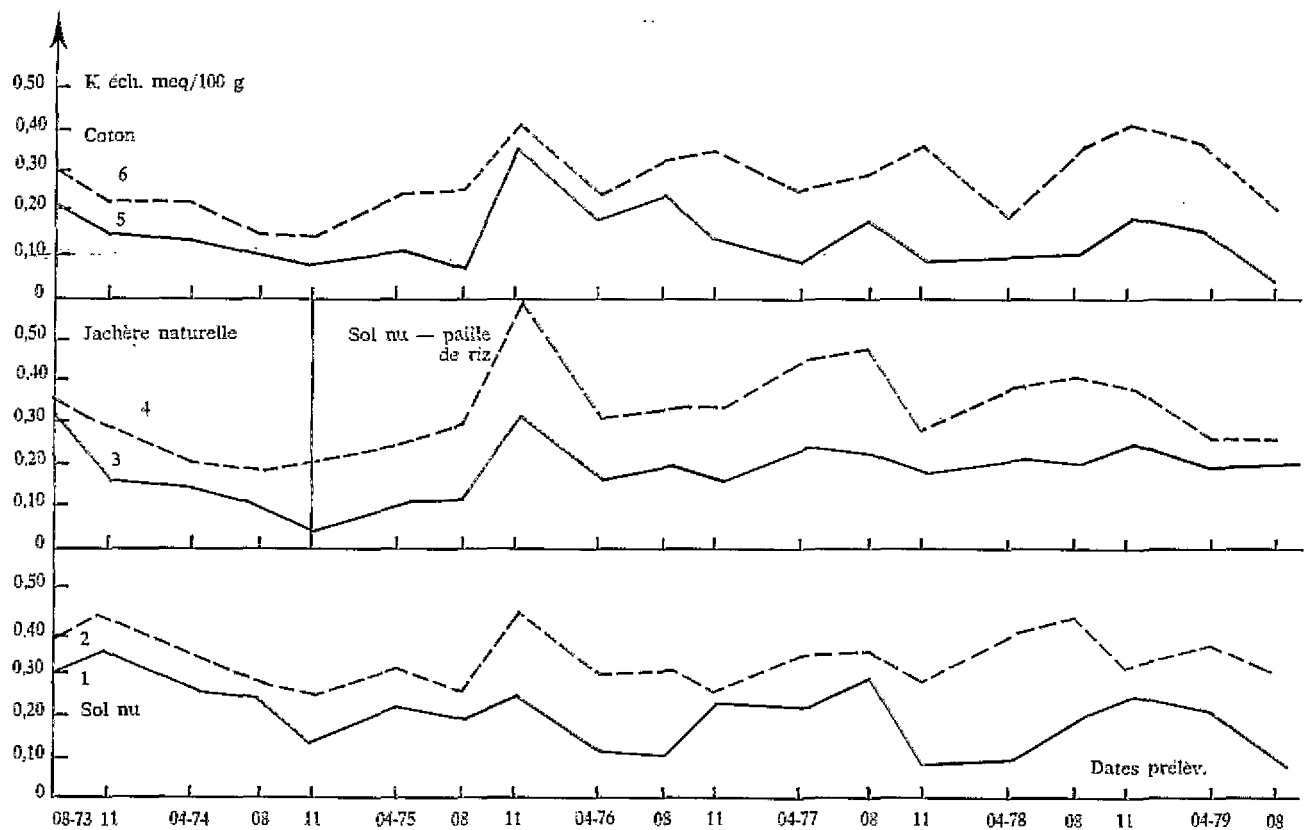


Figure 2. — K échangeable meq/100 g (25-50 cm)

## Observations sur les variations du potassium échangeable

### Variabilité

On observe sur les figures 1 et 2 une très grande variabilité des teneurs en potassium échangeable aux horizons 0-25 et 25-50 cm, qui peuvent varier du simple au double pour un même traitement sans qu'il y ait un périodisme quelconque. On ne peut relier cette variabilité ni au régime pluviométrique ni à l'humidité du sol au moment du prélèvement.

Ni la précision de l'échantillonnage (5 prélèvements sur 100 m<sup>2</sup>), ni celle de l'analyse au laboratoire ne peuvent être mises en cause; il y a en effet un très bon parallélisme entre les courbes 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Il y a donc des causes de variation dans le temps qui nous échappent actuellement. Il en résulte qu'il est très difficile de comparer deux analyses réalisées au même emplacement à plusieurs années d'intervalle

même si les prélèvements ont été effectués le même mois. Par contre, il est possible de comparer divers traitements entre eux si les échantillonnages sont réalisés au même moment.

### Evolutions probables

Malgré cette forte variabilité, il apparaît des variations probables dans certains objets de l'essai de Bouaké. On a calculé la régression en K échangeable (horizon 0-50 cm) d'un même traitement suivant la durée de l'essai. Deux régressions sont significatives au niveau de probabilité  $P = 0,05$ . Les calculs ont été conduits avec les données du tableau 2 en prenant comme variable indépendante le nombre de mois écoulés depuis le début de l'expérimentation.

#### 1° Objet 1: sol nu sans engrais

$$K \text{ éch. (0-50 cm) meq/100 g} = 0,26 - 1,60 \times 10^{-6} \times \text{nombre de mois}$$

$$t_b = -2,45; b \text{ diffère de zéro à } P = 0,03; r = -0,51.$$

La perte annuelle d'un sol nu à Bouaké serait donc de :  $0,0016 \times 12 = 0,002 \text{ meq/100 g}$ .

Si l'on estime la densité du sol en place à 1,4, cette perte correspond à 66 kg/ha de K<sub>2</sub>O dans l'horizon 0-50 cm.

2° Objet 6 : cotonnier recevant annuellement 54 kg/ha K<sub>2</sub>O

$$K \text{ éch. (0.50 cm) meq/100 g} = 0,23 + 1,6 \times 10^{-3} \times \text{nombre de mois}$$

$$r = 0,45; t_0 = 2,09; b \text{ diffère de zéro au niveau de probabilité } P = 0,05.$$

Le coefficient de régression est positif, il y a donc enrichissement du sol en potassium dans le cas d'une culture recevant une fertilisation potassique.

Ce résultat est d'ailleurs cohérent avec le bilan potassique de la culture (fertilisation - exportation) qui laisserait chaque année un reliquat d'une douzaine de kg de K<sub>2</sub>O par hectare.

## ESSAI DE KOUVE. Tabligbo (Togo)

## But de l'essai

Une étude de la dynamique du potassium a été mise en place en 1972 dans un sol ferrallitique sur continental terminal.

Nous ne retiendrons ici que l'objet « sol nu - non fertilisé » pour lequel des échantillons de terre ont été prélevés chaque année en mars, juin et novembre de 1972 à 1973.

## Evolution du potassium échangeable

Comme à Bouaké, nous observons une grande variabilité; de 1972 à 1975, il se manifeste cependant une certaine périodicité avec un maximum en mars, mais, les années suivantes, celui-ci se situe nettement plus tard.

Nous avons tenté d'expliquer cette variabilité en choisissant comme variables, d'une part, la plu-

viométrie antérieure au prélèvement de terre et, d'autre part, le nombre de mois écoulés depuis le début de l'expérimentation (pluviométrie mensuelle tableau n° 4).

Une série de corrélations multiples a été établie avec les variables explicatives x<sub>1</sub> et x<sub>2</sub>.

x<sub>1</sub> = pluviométrie cumulée allant d'un mois avant le prélèvement pour la première corrélation jusqu'à huit mois pour la dernière.

x<sub>2</sub> = nombre de mois écoulés depuis le début de l'expérimentation.

A chacune de ces variables et pour chaque corrélation, nous avons un coefficient de régression partielle b<sub>x<sub>1</sub></sub> et b<sub>x<sub>2</sub></sub> que l'on peut tester par rapport à zéro (test t). L'ensemble des données statistiques figure au tableau 5.

Tableau 3. — Evolution des teneurs en K échangeable, en meq/100 g (Horizon: 0-20 cm.)

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Mars .....	0,19	0,31	0,26	0,24	0,10	0,09	0,08	0,06
Juin .....	0,15	0,22	0,17	0,17	0,22	0,18	0,15	0,14
Novembre ..	0,13	0,12	0,05	0,14	0,17	0,10	0,08	0,08

Tableau 4. — Kouvé, Tabligbo, Pluviométrie mensuelle en mm.

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Janvier .....	—	20	1	—	—	37	—	5
Mars .....	75	57	48	—	39	4	—	73
Février .....	112	48	91	47	116	—	—	15
Avril .....	125	35	89	233	43	123	244	120
Mai .....	163	108	92	101	31	55	159	218
Juin .....	126	208	165	213	99	38	93	109
Juillet .....	55	40	97	125	25	17	9	204
Août .....	57	103	74	24	64	12	—	118
Septembre ..	45	143	117	106	12	158	143	128
Octobre .....	78	100	74	76	130	32	129	119
Novembre ..	—	—	—	—	—	21	17	20
Décembre ..	—	23	—	—	—	34	6	—

Tableau 5. — *Corrélations multiples. Analyse de la variabilité K éch. (0-20 cm)*

Pluies cumulées	$t_{01}$	b1 Probabilité différence zéro	$t_{10}$	b2 Probabilité différence zéro	R corrélation multiple	Nombre obser- vations
1 mois .....	— 0,16		— 2,7	P : 0,01	0,52	24
2 mois .....	— 0,38	P : 0,70	— 2,7	P : 0,01	0,53	24
3 mois .....	— 0,75	P : 0,45	— 2,7	P : 0,01	0,53	23
4 mois .....	— 1,06	P : 0,30	— 2,7	P : 0,01	0,55	23
5 mois .....	— 1,97	P : 0,06	— 2,9	P : 0,01	0,62	23
6 mois .....	— 2,47	P : 0,03	— 2,9	P : 0,01	0,66	23
7 mois .....	— 2,35	P : 0,04	— 3,0	P : 0,01	0,67	22
8 mois .....	— 2,00	P : 0,05	— 3,0	P : 0,01	0,65	22

Il ressort de ce tableau qu'il y a diminution progressive du potassium échangeable au cours du temps, ce que nous avons déjà noté à Bouaké (Côte-d'Ivoire), et que la teneur d'un sol en potassium échangeable à un moment donné est en relation inverse avec la pluviométrie cumulée des 6 mois qui précèdent le prélèvement de terre. Il est très inté-

ressant de voir au tableau 5 le test  $t_{01}$  et le coefficient de corrélation multiple R s'améliorer au fur et à mesure que l'on cumule les pluies jusqu'au sixième mois précédant l'échantillonnage du sol.

L'équation de régression avec la pluviométrie cumulée des 6 mois est la suivante :

$$K \text{ éch. (0-20 cm) meq/100 g} = 0,27 - 1,60 \times 10^{-4} \times \text{nombre mois} - 1,21 \times 10^{-4} \times \text{Pluies 6 mois.}$$

Les pertes en K en fonction du temps sont très faibles mais cependant significatives :

$$b_1 = -1,6 \times 10^{-4} \text{ (horizon 0-20 cm).}$$

alors qu'à Bouaké nous avons :

$$b_1 = -1,6 \times 10^{-4} \text{ (horizon 0-50 cm).}$$

## CONCLUSION

La grande variabilité des teneurs en K échangeable suivant les époques de prélèvement rend très imprécises les comparaisons entre analyses réalisées à des époques différentes. Par contre, la comparaison de divers traitements pour une même date de prélèvement est parfaitement valable.

Au Togo on a pu montrer une incidence très significative des pluies tombées au cours des 6 mois qui précèdent le prélèvement. Ce délai de 6 mois indi-

querait que les variations du potassium échangeable sont très lentes et résultent du mouvement de la solution du sol, mouvement positif ou négatif. Dans un sol nu la résultante est faiblement négative ; à Bouaké, les pertes en K<sub>2</sub>O sont de l'ordre de 66 kg/ha/an dans l'horizon 0-50 cm et à Kouvé de 7 kg/ha/an dans l'horizon 0-20 cm. Ces valeurs sont indicatives, elles ont été estimées avec une marge d'erreur importante bien qu'elles diffèrent significativement de zéro.



## II - Rôle de la matière organique et du potassium échangeable dans la réponse des cultures à la fertilisation potassique

L. RICHARD \*

Dans les essais soustractifs, on estime la déficience en un élément par le rendement obtenu avec la fertilisation dont il est soustrait en % de celui obtenu avec la fertilisation complète.

Exemple : Fertilisation complète ..... 2 524 kg/ha  
Fertilisation sans potassium 1 895 kg/ha  
 $1 895 \times 100$

$$\text{Déficience en K} : \frac{\quad}{2 524} = 75.$$

Cette déficience peut également être estimée de la même manière dans d'autres types d'essais si l'on peut comparer les rendements obtenus avec et sans l'élément étudié.

L'ensemble du réseau I.R.C.T. permet de relier les analyses du sol aux déficiences observées. Cet objectif a tenté fréquemment les agronomes cherchant un seuil pour chaque élément en deçà duquel sa présence dans la fertilisation a un effet positif sur les cultures. Rarement il a été possible de donner une réponse ayant une valeur générale car de nombreux facteurs interfèrent avec un éventuel seuil critique. En 1973, nous avons cité, pour illustrer cette difficulté, l'exemple de deux situations en Côte-d'Ivoire. A Yamoussoukro, la déficience est apparue avec une teneur en K échangeable de 0,22 meq/100 g alors qu'à Niakaramandougou la déficience n'était notée qu'en deçà de 0,11 meq. Dans la première situation, le taux de matière organique était de 5,7 % alors que dans la seconde il n'était que de 1,60 %. A Yamoussoukro, le facteur limitant K apparaît plus vite qu'à Niakaramandougou. La seule teneur en K échangeable est insuffisante pour caractériser la

réponse d'un sol à la fertilisation potassique. Par contre, si l'on définit la fertilité potentielle par la teneur du sol en matière organique, peut-être est-il possible de lui associer un niveau critique K, c'est ce que nous avons tenté à partir de données du tableau 6.

Le coefficient de corrélation entre teneur en matière organique et la déficience potassique est significativement différent de zéro et négatif,  $r = -0,38$  expliquant 14 % de la variabilité des déficiences observées. Indépendamment de la teneur en K échangeable, la nécessité du potassium dans la fertilisation est d'autant plus grande que le sol est riche en matière organique.

Le coefficient de corrélation entre teneur en K échangeable et la déficience observée est positif et significativement différent de zéro,  $r = 0,59$  expliquant 35 % de la variabilité. Indépendamment de la richesse organique des sols, la nécessité du potassium dans la fertilisation est d'autant plus grande que le sol est pauvre en potassium échangeable.

Pris isolément, les deux facteurs présentent des liaisons logiques avec la réponse à la fertilisation potassique mais elles sont peu étroites et d'une faible utilité pour interpréter une analyse. Par contre, après avoir vérifié l'indépendance des deux variables matière organique x K échangeable ( $r = +0,03$ ), nous avons établi leur corrélation multiple avec la déficience potassique. Le coefficient de corrélation est alors beaucoup plus élevé,  $R = 0,73$  expliquant 53 % de la variabilité.

$$\text{Déficience K} = 77,5 - 7,7 \text{ MO } \% (0-40 \text{ cm}) + 112,5 \text{ K éch. meq/100 g } (0-40 \text{ cm}).$$

Les deux coefficients de régression partielle diffèrent de zéro au niveau de probabilité  $P = 0,01$ .

Cette corrélation conduit aux observations suivantes :

— Les signes opposés des deux coefficients de régression partielle propres à la matière organique et au potassium sont conformes à la loi du minimum. Le niveau critique du potassium échangeable est d'autant plus élevé que le sol est riche en matière organique.

— La relation matière organique - potassium per-

met d'avancer une hypothèse nouvelle pour expliquer les réponses très fréquentes à la fertilisation potassique des sols des régions préguinéennes à forte pluviométrie. Certes, les pluies interviennent en créant momentanément des situations déficientes mais les fortes teneurs en matière organique relèvent également le niveau critique du potassium échangeable.

— Inversement, dans les sols des régions soudanaises pauvres en matière organique et à taux de minéralisation élevé, la baisse concomitante du carbone et du potassium expliquerait l'apparition tardive des réponses au potassium en culture continue.

Tableau 6. — Analyse du sol. Réponse aux apports de K.

Etat	Localité	Essai	Année	Analyse du sol	Mat. org. C % 0-40	K éch. meq/100 g 0-40	Rendit — K. % formule complète. Déficiency
Tchad	Bebedjia .....	Soustractif S1	1975	Mars 1975	1,14	0,27	104
		Soustractif S1	1977	Mars 1977	1,15	0,20	100
		Soustractif S4	1976	Mars 1977	0,36	0,05	82
		Soustractif S3	1978	Mars 1978 — Témoin	0,62	0,08	69
		Soustractif S2	1978	Mars 1978 — Témoin	0,51	0,09	78
		Soustractif S1	1978	Mars 1978 — Témoin	1,06	0,22	95
		Essai N	1978	Mars 1978 — Objet K	1,09	0,32	101
Cameroun	Maroua .....	Essai CFA			0,62	0,14	93
Bénin	Dassari .....	Soustractif	1975	1974	1,79	0,14	67
	Alfakpara .....	Soustractif	1975	1974	2,37	0,05	70
	Sinawararou ..	Soustractif	1975	1974	1,66	0,03	79
	Gogonou .....	Essai dose K	1975	1974	1,14	0,12	65
	Alaïharou .....	Essai soustractif	1975	Moyenne point appui	2,03	0,22	91
	Angaradebou ..	Essai soustractif	1975	Moyenne point appui	1,93	0,12	71
	Gogonou .....	Essai soustractif	1975	Moyenne point appui	1,60	0,12	53
	Gomparou .....	Essai soustractif	1975	Moyenne point appui	1,25	0,20	99
	Savalou .....	Essai soustractif I	1978	Analyse témoin	0,86	0,09	80
	Savalou .....	Essai soustractif II	1978	Analyse témoin	1,50	0,33	106
Haute-Volta	Ouakuy .....	Essais soustractifs	1972	Analyse de l'essai	0,96	0,10	90
	Kangala .....	en rotation triennale.	à	année correspondante	2,05	0,22	95
	Kari D. ....	Déficiency K	1978	(moyenne : 3 essais)	0,84	0,32	93
	Farako .....	estimée sur 2 <sup>e</sup> cycle			1,26	0,06	52
	Bilbaloghé ....	rotation			1,37	0,11	81
	Sogopelse .....	(moyenne : 3 essais)			0,86	0,12	96
	Silmidougou ...				0,89	0,27	101
	Tangaye .....				1,00	0,31	96
Sénégal	Koungheul .....	Essai soustractif	1973	Analyse de l'essai	0,52	0,11	107
	Koungheul .....	Essai soustractif	1974	Analyse de l'essai	1,10	0,06	80
	Botou .....	Essai soustractif	1973	Analyse de l'essai	0,98	0,17	91
	Botou .....	Essai soustractif	1974	Analyse de l'essai	0,98	0,07	85
	Barikounda ....	Essai soustractif	1972	Analyse de l'essai	0,75	0,07	92
	Barikounda ....	Essai soustractif	1973	Analyse de l'essai	0,75	0,12	61
	Barikounda ....	Essai soustractif	1974	Analyse de l'essai	1,54	0,05	52
	Sare Yoba Diega	Essai soustractif	1974	Analyse de l'essai	1,69	0,02	84
Mali	N'Tarla ... ..	Essai soustractif	1975	Analyse de l'essai	0,82	0,04	74
	Cinzana .....	Essai soustractif	1975	Analyse de l'essai	0,86	0,27	110
	Folonda .....	Essai soustractif	1975	Analyse de l'essai	0,97	0,17	95
	Zambilara .....	Essai soustractif	1975	Analyse de l'essai	0,60	0,26	96
	Kassorola .....	Essai soustractif	1975	Analyse de l'essai	0,73	0,20	99
Côte-d'Ivoire	Niakar. ....	Essai soustractif		Analyse de l'essai	1,60	0,11	77
	Yamousoukro .	Essai soustractif		Analyse de l'essai	5,70	0,22	58
Togo	Kouve .....	Courbe potassique	1976	Analyse de l'essai	3,14	0,18	78



### III - Incidence du bilan minéral d'un système de culture sur la teneur du sol en potassium échangeable

O. DOGNIN \*, C. MÉGIE \*

L'incidence du bilan minéral sur le potassium échangeable a été étudiée avec précision sur les essais de la station de Bebedjia au Tchad ; nous exposons les résultats acquis sur l'essai N.

Cet essai a été mis en place en 1966 pour comparer l'évolution du sol laissé nu ou cultivé annuellement en coton en présence de 4 modes de fertilisation.

En 1978, tout l'essai a été cultivé en coton.

— *Objets principaux :*

A. Sol nu ;

B. Sol cultivé.

— *Objets secondaires :*

T. Témoin non fertilisé ;

C. Fertilisation complète, N, P, K, S, B ;

— K. Même fertilisation qu'en C moins K à partir de 1975 ;

+ Ca. Même fertilisation qu'en C plus Ca depuis 1966.

4 répétitions des objets principaux.

Pour comparer entre elles les données du tableau 8, il faut rappeler l'imprécision déjà signalée dans les comparaisons du potassium échangeable entre deux époques distinctes de prélèvement ; les variations indépendantes d'une évolution à long terme peuvent

Tableau 7. — *Apports potassiques annuels dans l'essai N - K<sub>2</sub>O kg/ha.*

Années →	1966 à 1974	1975 à 1978
Objets		
T	0	0
C	80	160
— K	80	0
+ Ca	80	160

Tableau 8. — *Effet de la culture et de la fertilisation sur les bases échangeables (meq/100 g - horizon 0-20 cm).*

Situation		Bases échangeables (meq/100 g)				Somme
		Ca	Mg	K	Na	
A - Terrain nu - Témoin	= T	6,08	0,67	0,21	0,02	6,98
	= F	6,27	0,59	0,25	0,02	7,13
Mars 1970 B - Terrain cultivé	= T	7,61	0,98	0,38	0,04	9,01
	= F	6,84	0,77	0,37	0,01	7,99
A	T	6,67	0,70	0,27	0,01	7,65
	F	5,27	0,48	0,34	0,02	6,11
	T	6,45	0,80	0,21	0,01	7,47
	F	4,70	0,43	0,32	0,02	5,47

F = moyenne des teneurs des divers objets fertilisés = C, — K et + Ca.

\* Agronomes I.R.C.T., Tchad.

rendre illusoires ces comparaisons ; néanmoins, celles que l'on établit entre divers traitements à une date donnée conservent tout leur intérêt et leur précision.

Tenant compte de ces recommandations, on peut mettre en évidence les effets respectifs de la culture et de la fertilisation sur l'évolution des bases échangeables.

En mars 1970, A est inférieur à B alors que, 8 ans après, le classement est inverse, indépendamment de l'effet engrais. *Un sol nu se désature moins vite qu'un sol cultivé.* Les exportations sont vraisemblablement la cause de cette différence de comportement. En mars 1970, on note une légère infériorité de F par rapport à T sauf pour le potassium et en mars 1978 T est très nettement supérieur à F pour Ca et Mg, indépendamment de A et B. Ce classement aurait donc deux causes : d'une part *l'effet acidifiant des engrais* (comparaison de la différence  $AT - AF$  en mars 1970 et en mars 1978, A est un sol non cultivé dont on n'exporte aucun élément); d'autre part, *l'accroissement des exportations dû à la fertilisation*, en mars 1970 BF est déjà inférieur à BT et, en mars 1978, cette déficience s'est fortement accentuée.

D'après ces observations, dans l'essai N, un sol perdra d'autant plus de bases échangeables qu'il produira plus, ces pertes étant limitées par les apports sous forme d'engrais ; dans le tableau 8 nous notons que K échangeable en F est toujours supérieur à ce qu'il est en T (rapport de mission L. Richard - mai 1980).

Cette incidence du bilan minéral est clairement mise en évidence dans les corrélations établies entre celui-ci et la teneur du sol en K échangeable.

1° *Sol cultivé* : Entre les années 1966 et 1977, le bilan potassique, estimé par différence entre la fertilisation et les exportations, varie de  $-260$  kg/ha K<sub>2</sub>O à  $+798$  kg/ha dans les 16 parcelles représentant l'objet B. Dans ces mêmes parcelles, la teneur en K

échangeable de l'horizon 0-20 cm en mars 1978 varie de 0,17 à 0,49 meq/100 g. *La corrélation entre ces deux séries de valeurs est  $r = +0,72$ . Il y a donc une liaison hautement probable entre bilan potassique et teneur en K échangeable.*

2° *Sol nu* : La même corrélation a été établie en sol nu dans cet essai ; le bilan est évidemment positif puisque l'on apporte des engrais en quantités variables suivant les objets, mais sans jamais rien exporter. Cette corrélation n'indique aucune liaison significative. L'absence de culture supprimant les exportations et limitant l'évapotranspiration doit modifier sensiblement la dynamique du potassium dans le sol.

✱

L'essai N de Bebedjia a permis de caractériser quelques facteurs agricoles qui agissent sur la teneur d'un sol en potassium échangeable, tels que les exportations par les cultures et la fertilisation dont les effets peuvent être opposés par apport de potassium et acidification. Dans la partie I de cette étude, il a été mis également en évidence un effet à long terme de la lixiviation en sol nu au Togo comme à Bouaké. Cependant, il apparaît assez nettement que le bilan minéral est le facteur essentiel puisqu'à lui seul il explique 50 % de la variabilité observée après 12 années de culture dans l'essai N. Cette corrélation avait déjà été établie par C. Mégie à Deli (Tchad) et par O. Dognin sur divers essais de Bebedjia avec des coefficients de corrélation voisins de 0,75. Rappelons le dernier paragraphe de la note I où l'on observe une évolution positive à long terme en présence d'un bilan positif à Bouaké (Côte-d'Ivoire).

Les conséquences pratiques du rôle du bilan minéral sur la fertilité potassique d'un sol sont évidentes. Un système de culture doit obligatoirement avoir un bilan potassique positif si l'on veut maintenir la fertilité. La restitution des résidus de récolte est indispensable pour limiter les apports de potassium dans la fertilisation.

## IV - Effet de la fertilisation minérale sur l'acidification du sol et les variations du potassium échangeable

G. SÉMENT \*

Dans divers rapports, l'étude des effets secondaires de la fertilisation minérale a été abordée en s'appuyant sur des essais menés en Côte-d'Ivoire dans divers systèmes culturaux à base coton.

\*\*

Essais en savanes de qualité moyenne :

- Boundiali ;
- Niakaramandougou ;
- Brobo.

Tableau 9. — Succession culturale dans les essais.

Localité →	Boundiali	Niakara	Brobo
Année			
1972 .....	Coton	Coton	Coton
1973 .....	Coton	Coton	Coton
1974 .....	Coton	Coton	Coton
1975 .....	Riz	Arachide	Arachide
		puis coton	puis coton
1976 .....	Coton	Maïs	Maïs
		puis arachide	puis soja
1977 .....	Coton	Coton	Arachide
			puis coton

4 niveaux de fertilisation en progression arithmétique ont été comparés dans ces essais : 0, 1, 2, 3. Le niveau 2 correspond à la fertilisation vulgarisée en culture intensive.

Les analyses de sol ont été effectuées sur les quatre niveaux de fertilisation à la fin de la sixième année en 1977 pour l'horizon 0-20 cm. Les moyennes des 3 essais figurent au tableau 12.

Tableau 10. — Fertilisation cumulée de 1972 à 1977 au niveau 3.

Localité →	Boundiali	Niakara	Brobo
Eléments (kg/ha)			
N	550	524	573
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	376	356	390
K <sub>2</sub> O	390	430	471
S	381	365	411
CaO	86	88	93
MgO	18	18	18
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	34	40

Tableau 11. — Rendements en coton-graine (kg/ha).

Localité →	Boundiali				Niakara				Brobo			
Année	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
1972 .....	1 112	1 328	1 532	1 727	565	926	1 016	1 124	397	607	765	791
1973 .....	869	1 106	1 414	1 686	1 231	1 726	1 691	2 196	1 206	1 492	1 801	2 153
1974 .....	709	1 336	1 752	2 096	1 333	1 907	1 988	2 327	825	1 364	1 801	2 195
1975 .....	—	—	—	—	806	1 458	1 526	2 033	548	1 091	1 365	1 931
1976 .....	522	122	1 580	1 616	—	—	—	—	—	—	—	—
1977 .....	669	1 390	1 636	1 690	1 183	1 767	1 897	2 240	605	1 012	1 394	1 629

Dans ce tableau 12, on observe une nette décroissance, presque linéaire, du calcium, du magnésium et du pH suivant les doses croissantes d'engrais 0, 1, 2, 3. Cette décroissance peut être liée aux exportations par les cultures dont les rendements moyens varient dans le même sens :

0 = 839 kg/ha de coton-graine ;

1 = 1 242 kg/ha de coton-graine ;

2 = 1 544 kg/ha de coton-graine ;

3 = 1 829 kg/ha de coton-graine.

Le potassium qui est apporté annuellement manifeste une variation inverse.

\* Agronome I.R.C.T., Bouaké (Côte-d'Ivoire).

Tableau 12. — Moyenne des analyses de sol des 3 essais en 1977.

Niveaux fertilisation	Bases échangeables			pH eau	Argile + limon (%)	Mat. org. (%)
	Ca	Mg	K			
0 .....	1,50	0,57	0,12	5,97	20,3	1,84
1 .....	1,41	0,50	0,20	5,60		
2 .....	0,99	0,36	0,22	5,22		
3 .....	0,83	0,33	0,27	5,17		

Cette situation est la résultante de divers facteurs qui interviennent positivement ou négativement. Les apports d'éléments par les engrais ont un effet positif alors que les exportations par les cultures et la lixiviation du sol ont des effets négatifs. C'est évidemment l'incidence de la fertilisation sur la lixiviation des bases échangeables qui retient notre attention ; nous pouvons en avoir une estimation par les bilans minéraux en tenant compte des composantes suivantes :

A = Variation des teneurs du sol en une base donnée, estimée en kg/ha, sous l'effet d'une application d'engrais.

Exemple établi à partir des données du tableau 12 :

- Teneur en Ca du témoin 0 = 1,50 meq/100 g ;
- Teneur en Ca de l'objet 1 = 1,41 meq/100 g ;

$(1,41 - 1,50) \times 0,20 \text{ cm} \times 10\,000 \text{ m}^2 \times 1,6 \text{ (densité sol} \times 28 \times 10^{-3}) = -81 \text{ kg/ha CaO}$

L'application pendant 6 années de la dose d'engrais 1 conduit à un appauvrissement de la teneur en CaO de l'horizon 0-20 cm de 81 kg/ha.

B = Fertilisation cumulée en 6 ans.

On établit la moyenne pour les 3 essais à partir du tableau 10.

C = Exportations par les cultures.

Les rendements moyens pour chacun des objets 0, 1, 2 et 3 nous permettent de calculer l'accroissement des exportations provoqué par chaque dose d'engrais 1, 2

et 3. La correspondance entre rendement et exportation a été établie antérieurement pour les conditions de la Côte-d'Ivoire.

D = Les variations de lixiviation dues à l'application des engrais peuvent être estimées par la relation :

$$L = A - B + C.$$

Toutes ces valeurs figurent au tableau 13.

Les valeurs présentées dans ce tableau n'ont qu'un intérêt comparatif, la lixiviation réelle y est certainement sous-estimée puisque nous ne tenons compte que de l'horizon 0-20 cm pour lequel nous avons des données analytiques.

Quoi qu'il en soit, l'estimation proposée de L met en évidence deux faits intéressants directement l'agronome :

— La lixiviation des bases s'accroît très rapidement avec les apports d'engrais. Les pertes en CaO de l'horizon 0-20 cm durant les 6 années de culture passent de 78 kg/ha à 610 kg/ha lorsque les doses d'engrais varient de la dose 1 à la dose 3 ;

— Le potassium est beaucoup moins sensible que le calcium et le magnésium aux phénomènes de lixiviation.

§

Ces observations sont conformes à celles déjà proposées en I et III de cette étude :

I. — A Bouaké, on observe un enrichissement progressif du sol en K échangeable lorsque le bilan fertilisation - exportation est légèrement excédentaire.

III. — Au Tchad, l'effet acidifiant des engrais a déjà été remarqué ; le sol d'une culture fertilisée perd plus de cations que le sol des cultures sans engrais.

D'une manière générale, on peut conclure à une bonne stabilité du potassium échangeable dans les sols cultivés, les pertes étant dues surtout aux exportations par les cultures.

Au Tchad, cette différence de comportement entre cations et l'effet des engrais sur la désaturation ont été vérifiés par O. Dognin à Bebedja en cuves lysimétriques de Roose.

Tableau 13. — Bilan minéral des 3 essais à l'issue des 6 années d'expérimentation (kg/ha).

Différence avec le témoin	— A — Variation bases échangeables (0-20 cm) en 1977			— B — Fertilisation cumulée en 6 ans			— C — Accroissement exportations par fertilisation minérale 6 ans			— D — Lixiviation Estimation accrt en présence fertilisation L = A - B + C		
	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
1-0 .....	- 81	- 45	+ 130	30	6	143	33	18	73	- 78	- 33	+ 50
2-0 .....	- 456	- 134	- 150	60	12	287	57	32	128	- 459	- 114	- 9
3-0 .....	- 600	- 153	+ 225	90	18	430	80	45	180	- 610	- 126	- 25

Tableau 14. — *Percolation des cations à Bébedjia (Tchad). Cuves lysimétriques de Roose (O. Dognin, 1976).*

kg/ha	1976 : Pluviométrie 1 024 mm Couverture de cotonniers Cuves 150 cm	
	avec engrais	sans engrais
CaO .....	87	54
MgO .....	21	11
K <sub>2</sub> O .....	33	13
Fertilisation ..	N = 144, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 84	Néant
Kg/ha .....	K <sub>2</sub> O = 216, S = 112 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 4	

## Conclusions et conséquences agronomiques

Les études conduites par l'I.R.C.T. en coopération avec les services nationaux de recherches agronomiques sur l'ensemble des zones cotonnières d'Afrique tropicale nous ont permis de préciser certains aspects de la dynamique du potassium dans les sols cultivés.

- Les teneurs en potassium échangeable présentent une grande variabilité suivant les époques de prélèvement. Cette variabilité est sous la dépendance vraisemblable des conditions climatiques, une partie de celle-ci ayant été expliquée au Togo par la pluviométrie cumulée des six mois précédant le prélèvement de l'échantillon.
- Des variations à long terme ont été mises en évidence, notamment sous l'effet des exportations des cultures et des apports d'engrais.
- Contrairement au calcium et au magnésium, le potassium serait relativement stable et peu sensible à la lixiviation dans les sols cultivés.
- La réponse à la fertilisation potassique dépend de

la richesse du sol en potassium ainsi que de sa teneur en matière organique. Le niveau critique du potassium échangeable est d'autant plus élevé que le sol est riche, conformément à la loi du minimum.

Les conséquences agronomiques de ces conclusions sont les suivantes :

- La fertilisation potassique s'adresse en priorité aux sols ayant un bon potentiel de production défini par leur taux de matière organique ;
- Il est inutile de fractionner les apports de potasse dans le courant de la culture ;
- La fertilité potassique d'un sol se maintient lorsque le bilan fertilisation - exportation est équilibré ;
- La restitution des résidus de récolte améliore le bilan et limite les apports de potassium par les engrais.

## SUMMARY

The great variability in the content of exchangeable K according to the period in which samples are taken makes the comparison of analyses carried out at different periods very inaccurate. On the other hand, a comparison of the various treatments for a same sampling time is perfectly valid.

In Togo, it has been possible to partly explain this variability during the last six years by the total rainfall during the six months preceding sampling.

On the basis of data obtained from 42 trials distributed over Africa from Senegal to Central Africa, it has been possible to develop the following regression equation :

Response to potassium fertilisation :  $77.5 - 7.7 \text{ org. matter \%} + 112.5 \text{ K meq/100 g (0.40 cm)}$ .

This response attains a value of 100 when there is no longer any response of the cotton plant to the addition of potassium.

This confirms that the changes in the exchangeable potassium in the soil depends on the potassium balance sheet of the production system. If the additions made are greater than the exports, an increase in the potassium is observed and conversely. The addition of fertilisers increases the losses in cations by acidification. Calcium and magnesium are more susceptible to leaching than potassium.

## RESUMEN

*La gran variabilidad de los contenidos de K intercambiable según las épocas de muestreo, hace que las comparaciones entre análisis realizados a épocas diferentes sean muy imprecisas; por el contrario, la comparación de diversos tratamientos para una misma época de muestreo es perfectamente correcta. En Togo, se pudo explicar parcialmente esta variabilidad durante 6 años mediante la suma de las lluvias que se habían producido durante los 6 meses precedentes al muestreo.*

*A partir de los datos recogidos en 42 ensayos repartidos en Africa y después en el Senegal hasta Centroáfrica, fue posible establecer la ecuación siguiente:*

*Respuesta a la fertilización potásica =  $77,5 - 7,7 \text{ mat. org. \%} + 112,5 \text{ K meq/100 g (0,40 cm)}$ .*

*Esta respuesta alcanza el valor 100, cuando ya no se produce respuesta del algodónero a las aplicaciones de potasio.*

*Se verifica que la evolución del potasio intercambiable del suelo, depende del balance potásico del sistema de producción. Si las aportaciones son superiores a las exportaciones se observa un incremento del potasio e inversamente. Las aplicaciones de abono, por acidificación, incrementan las pérdidas de cationes; el calcio y el magnesio son más sensibles a la lixiviación.*